

УДК [550.347.4 + 551.241] (-925.18)

## ГРАНИЦЫ ЛИТОСФЕРЫ НА КАМЧАТКЕ ПО ДАННЫМ МЕТОДА ОБМЕННЫХ ВОЛН ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2016 А.Г. Нурмухамедов<sup>1</sup>, В.В. Недядько<sup>2</sup>, В.А. Ракитов<sup>2</sup>, М.С. Липатьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество «Камчатгеология», Петропавловск-Камчатский, 683016;  
e-mail: nurmukhamedov1949@mail.ru

<sup>2</sup>Филиал АО «ВНИИГеофизика» — Центр «ГЕОН», Москва, 107140

Статья подготовлена на основе обобщения результатов глубинных исследований методом обменных волн землетрясений (МОВЗ), выполненных в 1986–2013 годах по сети региональных профилей на Камчатке. Одна из целей обобщения — построение по данным МОВЗ структурных схем, отражающих особенности морфологии разделов Мохоровичича (М), Конрада (К) и кровли консолидированной коры ( $K_0$ ). Представлены сведения о скоростных характеристиках среды, методике обработки, интерпретации материалов МОВЗ и построении глубинных разрезов. В качестве примера комплексной интерпретации геолого-геофизических данных показаны глубинные геоплотностные модели по профилю, проложенному на юге полуострова. В результате проведенных работ построены схемы разделов литосферы: М, К и  $K_0$ . Полученные схемы могут быть использованы при выделении литосферных блоков 1-го, 2-го и более мелких порядков. Выявлена региональная доминанта — линейно-вытянутая зона подъема границ Мохоровичича и Конрада северо-западного простираения, отождествляемая с фрагментом границы между Северо-Американской и Евразийской литосферными плитами.

*Ключевые слова:* Камчатка, литосфера, раздел Мохоровичича, обдукция, зона поперечных дислокаций.

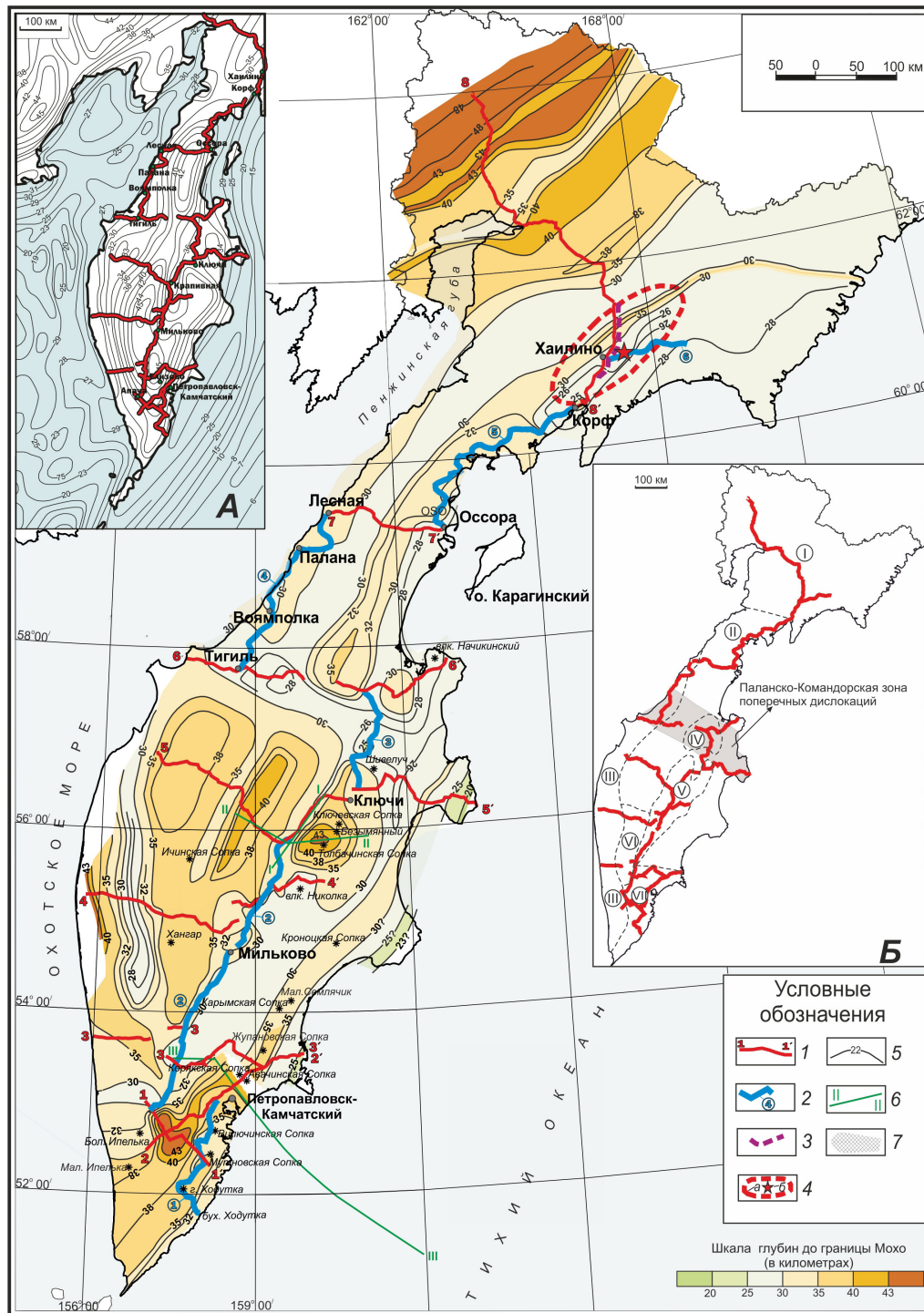
### ВВЕДЕНИЕ

Начиная с конца 70-х годов прошлого столетия на территории п-ова Камчатка, ОАО «Камчатгеология» (ныне АО «Камчатгеология», входящее в состав холдинга АО «Росгеология») на основе долговременной программы осуществляет комплексные геофизические исследования по региональным профилям методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и обменных волн землетрясений (МОВЗ). Постановка геофизических работ обоснована необходимостью изучения особенностей геологического строения земной коры и верхней мантии с целью создания схемы сеймотектонического районирования в регионе, характеризующимся широким развитием современного вулканизма и высокой сейсмической активностью в переходной зоне материк-океан. К настоящему времени вся территория Камчатки покрыта сетью профилей (рис. 1), пересекающих основные геологические структуры региона.

Настоящая работа выполнена на основе обобщения и частичной переинтерпретации материалов глубинных исследований, выполненных в рамках Государственного контракта с Управлением по недропользованию по Камчатскому краю — «Камчатнедра» в 2011–2013 гг.<sup>1</sup> Одной из целей работы было построение по данным МОВЗ структурных схем, отражающих особенности морфологии разделов литосферы: Мохоровичича (М), Конрада (К) и кровли консолидированной коры ( $K_0$ ) — поверхности кристаллического фундамента.

В качестве опорной информации, использовались материалы глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), полученные в Центральной

<sup>1</sup> Нурмухамедов А.Г. Отчет о результатах работ по объекту «Создание схемы сеймотектонического районирования Корьякско-Камчатской складчатой области на основе обобщения глубинных геолого-геофизических работ». В 2-х книгах и 1-й папке. Петропавловск-Камчатский: ОАО «Камчатгеология», 2013. 511 с.



**Рис. 1.** Схема глубин до границы Мохоровичича по данным МОВЗ (на врезках: *А* — схема мощности земной коры (Бабошина и др., 1984); *Б* — границы (пунктирные линии) зон и структур, характеризующиеся скоростными параметрами (табл. 1-3) и их номера: I — Олюторская зона, II — структуры Камчатского перешейка, III — Западно-Камчатская зона, IV — Озерновская впадина, V — Центрально-Камчатский прогиб, VI — Срединный выступ, VII — Южно-Камчатская зона). Условные обозначения: 1 — региональные профили МОВЗ-МТЗ, отработанные АО «Камчатгеология» (ПГО «Камчатгеология») с 1986 по 2006 гг. и их номера; 2 — участки регионального увязочного профиля МОВЗ-МТЗ м. Лопатка — с. Хаилино, отработанные с 2007 по 2010 гг. и их номера; 3 — участок профиля 8-8', повторно отработанный методами МОВЗ и МТЗ после Олюторского землетрясения (20.04.2006); 4 — Очаговая область Олюторского землетрясения 2006 г.; 5 — инструментальный эпицентр (б) наиболее сильного толчка (20.04.2006  $M_w = 7.6$ ) (Ландер и др., 2007); 6 — изолинии глубин (км) до границы Мохоровичича (Конрада и консолидированной коры на рис. 6 и 7 соответственно); 7 — I-I, II-II — профили ГСЗ (Аносов и др., 1978), III-III — наземно-морской профиль ГСЗ (Геолого-геофизический ..., 1987); 7 — Выходы пород докайнозойского складчатого основания и древнего метаморфического фундамента (Карта ..., 1999).

и Южной Камчатке (Аносов и др., 1978; Попов и др., 1987), а также данные инверсии записей далеких землетрясений методом «функции приемника», полученных со стационарных сейсмологических станций, расположенных на полуострове (Levin et al., 2002). На протяжении всего периода исследований (1986–2010 гг.) для обработки данных МОВЗ осуществлялась выборка сейсмических событий из каталога землетрясений, который регулярно обновляется на официальном сайте<sup>2</sup> Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН).

К настоящему времени опубликовано довольно значительное число работ, в которых обсуждается мощность земной коры в Камчатском регионе. Так, по данным В.А. Бабошиной с соавторами (1984) мощность земной коры в центральной части Камчатского перешейка достигает 40–42 км, а ближе к Охотскому морю 29–30 км (рис. 1, врезка А). По другим данным (Levin et al., 2002) — 31 км. Но по результатам интерпретации материалов МОВЗ по профилю 7–7' (рис. 1) мощность земной коры в центральной части перешейка «увеличена» до 45 км (Мишин и др., 2003), а у побережья Охотского моря до 50–55 км (!). В Западной Камчатке по данным В.А. Бабошиной с соавторами (1984) мощность земной коры варьирует в пределах 28–35 км, по данным статьи (Levin et al., 2002) она составляет 38 км. Но по материалам МОВЗ в западном окончании профилей 4–4' и 3–3' (рис. 1) глубина до раздела М достигает высоких значений — 45–50 км (Мишин, 1997). Анализ материалов МОВЗ по профилям 1–1' — 5–5', 7–7' показывает, что и в других районах Камчатки допущены системные завышения глубин до разделов Мохоровичича, Конрада и иных границ земной коры. Поэтому, впоследствии было принято решение о переинтерпретации материалов МОВЗ по указанным профилям.

Выявленные противоречия в оценке глубин до указанных границ (Бабошина и др., 1984; Мишин, 1996, 1997; Мишин и др., 2003; Levin et al., 2002) можно объяснить подбором моделей, отличающихся различными скоростными характеристиками разреза, неоднозначной корреляцией границ обмена волн, некорректным определением природы наиболее выраженных границ обмена. Вероятно, для уточнения глубин до границ в земной коре и раздела Мохоровичича требуется или иное истолкование геологической природы границ обмена, или пересчет временных разрезов в глубинные, но уже на основе уточненных скоростных данных разреза. В процессе переинтерпретации материалов МОВЗ выполнялись обе процедуры.

<sup>2</sup><http://www.emsd.ru/ts/>

В работе над статьей использован значительный объем геолого-геофизических данных, полученных в разные годы коллективом сотрудников ОАО (ПГО) «Камчатгеология». Это материалы МОВЗ и МТЗ, полученные с 1979 по 2010 гг., это и, широко используемые в глубинных исследованиях, данные гравиметрической съемки масштаба 1:200000, начатой в начале 70-х годов прошлого столетия. Для получения скоростных характеристик верхней части земной коры использовались материалы региональной сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) и корреляционным методом преломленных волн (КМПВ). За последние десятилетия данные виды сейсморазведки проведены практически во всех осадочных бассейнах Камчатского региона.

Начиная с 2004 г. значительный вклад в работы МОВЗ внесли сотрудники филиала АО «ВНИИГеофизика» — Центр «ГЕОН», принимавшие участие в освоении этого метода еще в период его становления на Камчатке в начале 70-х годов прошлого века. Обобщение и переинтерпретация данных МОВЗ по региональным профилям 1–1' — 5–5', 7–7' (рис. 1), построение глубинных разрезов и структурных схем, отражающих морфологию разделов Мохоровичича, Конрада и кровли консолидированной коры выполнены коллективом авторов настоящей статьи за период времени с 2011 по 2013 годы. Авторы выражают искреннюю благодарность всем специалистам, оказавшим поддержку в выполнении данной работы.

## МЕТОДИКА РАБОТ

Метод МОВЗ основан на совместной регистрации продольных (Р), поперечных (S) и обменных (PS) волн с использованием естественных и мощных искусственных источников. На основе сейсмических исследований МОВЗ можно получить геофизическую информацию о структуре литосферы до глубины порядка 60 км и более, о положении зон разрывных нарушений, о сейсмичности геологической среды (Померанцева, Мозженко, 1977).

Принцип метода состоит в том, что при прохождении через геологическую среду продольной волны (Р-волны), на границе слоев с различными скоростными характеристиками образуются обменные PS-волны. Такие волны, изначально образуемые в очаге далекого землетрясения, приходят к пункту регистрации с временным запаздыванием относительно Р-волны. Располагая набором скоростных моделей для исследуемого региона и имея данные времен запаздывания PS-волн, можно вычислить глубины до границ, на которых образовались обменные PS-волны.



Полевые наблюдения МОВЗ, реализованные по сети региональных профилей (рис. 1), выполнены по стандартной методике (Померанцева, Мозженко, 1977) при трех компонентной регистрации сейсмических волн. В процессе работ использовались аппаратурные комплексы «Черепаша», позднее регистраторы «Дельта-Геон» и «Дельта-Геон-02» с сейсмоприемниками СК-1П и СМ-3КВ. Шаг наблюдений по профилям — 3–5 км. Регистрация событий осуществлялась в режиме «по обнаружению» в оптимальном по соотношению сигнал/помеха диапазоне частот 0.1–7.5 Гц. Продолжительность стоянки регистрирующей аппаратуры составляла не менее 30 суток, что обеспечивало необходимый набор информации для выделения границ обмена.

### СВЕДЕНИЯ О СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СРЕДЫ

Для выбора скоростных характеристик разреза использовались данные обобщения ранее выполненных сейсморазведочных работ (ГСЗ, МОГТ, КМПВ, сейсмокаротажа) и сейсмологии.

Анализ результатов работ МОВЗ, ГСЗ, МОГТ<sup>3</sup>, КМПВ<sup>4</sup> показывает, что основу выбранных скоростных моделей составляет положение следующих опорных границ. Граница F — кровля акустического фундамента, характеризующаяся граничной скоростью ( $V_r$ ) равной  $5.4 \pm 0.2$  км/с. Данная граница часто отождествляется с кровлей верхнемелового комплекса пород. Залегающая глубже, кровля консолидированной коры ( $K_0$ ) — поверхность кристаллического фундамента ( $V_r = 6.0 \pm 0.2$  км/с). Граница Мохоровичича (M) — кровля верхней мантии ( $V_r = 8.0 \pm 0.2$  км/с).

Из промежуточных сейсмических границ в коре имеет распространение граница, характеризующаяся скоростью Р-волны порядка 6.7 км/сек (Косминская, 1967), именуемая границей Конрада.

Для получения глубинных разрезов МОВЗ выбрано семь моделей скоростных характеристик разреза, отвечающих следующим зонам и структурам региона (рис. 1, врезка Б): Олюторской зоне, структурам Камчатского перешейка, Западно-Камчатской зоне, Озерновской впадине, Центрально-Камчатскому прогибу, Срединному выступу, Южно-Камчатской зоне.

<sup>3</sup> Манапов В.Г., Пак Г. Отчет о результатах сейсморазведочных работ в центральной части Ильпинского прогиба в 1974–1975 гг. Елизово: ГФЭ КТГУ, 1975. 133 с.

<sup>4</sup> Портнов А.Н. Отчет о региональных сейсморазведочных работах в центральной части Центрально-Камчатского прогиба, проведенных Атласовской сейсморазведочной партией № 2 в 1978 г. Елизово: ГФЭ КТГУ, 1978. 141 с.

Скоростная модель коры на юге Камчатки и, в частности, в районе Авачинской группы вулканов (рис. 1) принята по результатам переинтерпретации ранее полученных данных вдоль профиля ГСЗ «суша-море» (Попов и др., 1987). Обращает на себя внимание присутствие здесь в интервале глубин от 20–22 до 30–34 км слоя с аномально высокими, почти «мантийными» скоростями (7.8 км/с) продольных волн, кровля которого ранее (Аносов и др., 1974) отождествлялась с разделом Мохоровичича. Однако, позднее (Аносов и др., 1978) было установлено, что гораздо с большей степенью вероятности этот раздел выделяется на глубине 42–46 км. К этому следует добавить, что по мнению С.Т. Балесты и Л.И. Гонтовой (1985) мощность переходной зоны кора-мантия со скоростями Р-волн 7.4–7.5 км/с под вулканическими районами Камчатки может достигать 20 км и ее присутствие не позволяет однозначно трактовать вопрос, где находится основание земной коры.

При определении глубин до границы Мохоровичича в районе Ключевской и Авачинско-Корякской групп вулканов (рис. 1) авторы настоящей работы придерживались концепции выделения данного раздела, изложенной в работах (Аносов и др., 1978; Попов и др., 1987).

В процессе сбора информации о скоростных параметрах среды, в настоящей статье наряду со сведениями ГСЗ (Аносов и др., 1978; Попов и др., 1987) использовались данные сейсмологии, полученные в результате сейсмотомографического восстановления объемной скоростной модели земной коры и верхней мантии в Восточной Камчатке (Гонтовая и др., 2003) и сведения, полученные путем инверсии волновых форм под стационарными сеймостанциями (Levin et al., 2002), расположенными на полуострове.

Обобщенные сведения о скоростных характеристиках среды приведены в таблицах 1–3.

### ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ МОВЗ

Обработка полевых материалов МОВЗ осуществлялась с использованием записей Р-, S- и PS-волн широкого класса сейсмических событий (далеких и близких землетрясений, попутных взрывов), что впоследствии обеспечило достаточную информативность и глубинность построений. Для выделения обменных волн из исходных трехкомпонентных сейсмограмм применена версия метода «функции приемника», разработанная в Институте Физики Земли (ИФЗ РАН) Л.П. Винником (1977).

**Таблица 1.** Скоростные характеристики зон и структур Северной и Западной Камчатки.

Зоны, структуры		Олюторская зона		Структуры Камчатского перешейка				Западно-Камчатская зона			
Региональные профили и их отдельные участки		Профиль 8-8'	*Участок 6	*Участок 5				*Участок 4 и его отдельные фрагменты			
								Палана – Лесная	Палана – Воямполка	Тигиль – Воямполка	
				-		Профиль 7-7'				-	
№ п/п	Н, км	V <sub>p</sub> (км/с)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	V <sub>p</sub> (км/с)		V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>		V <sub>p</sub> (км/с)		V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	
		II		II	I	II	I	II	I	II	
1	0.00	3.00	1.95	5.80	3.70	1.68	1.85	5.80	3.00	1.68	1.95
2	0.1-1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2.00	4.90	1.75	-	-	-	-	-	5.60	-	1.75
4	2.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	3.00	-	-	-	5.90	-	1.75	-	-	-	-
6	4.0-5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6.00	6.00	1.73	-	-	-	-	-	-	-	-
8	7.00	-	-	-	6.20	-	1.73	-	6.20	-	1.73
9	7.5-10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	12.00	6.60	1.73	-	-	-	-	-	-	-	-
11	15.00	-	-	-	6.60	-	1.73	-	6.60	-	1.73
12	20.00	7.00	1.73	5.80	7.00	1.68	1.73	5.80	7.00	1.68	1.73
13	25.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	28.00	8.00	1.73	-	-	-	-	-	-	-	-
15	30.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	32.00	-	-	-	8.00	-	1.73	-	8.00	-	1.73
17	35.00	-	-	6.50	-	1.73	-	6.50	-	1.73	-
18	38.0-100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	420.00	-	-	-	-	1.89	-	9.14	-	1.89	-

Примечание к таблицам 1-3. \*Отдельные участки регионального профиля м. Лопатка — с. Хаилино. В столбцах I и II показаны скоростные характеристики среды, которые использовались при расчете разрезов МОВЗ соответственно в публикациях (Мишин, 1996, 1997; Мишин и др., 2003) и в настоящей работе. Местоположение профилей представлено на рис. 1.

На завершающем этапе интерпретации составлялись монтажи волновых форм — временные разрезы. Далее по ним выделялись оси синфазности и, таким образом, осуществлялась фазовая корреляция обменных волн, связываемых с сейсмическими границами. На этом завершался этап формирования временных разрезов. Трансформация временных разрезов в глубинные реализована с использованием скоростных параметров (табл. 1-3).

По характеру волнового поля в разрезе выделены блоки в земной коре и литосфере, разделенные глубинными разломами, которые

определялись на основе критериев, представленных в работе (Померанцева, Мозженко, 1977). Выделение и прослеживание на глубину разломных зон осуществлялось с использованием обменных волн временного (кинематического и динамического) разреза по комплексу признаков, основными из которых являются: резкие изменения значений времен запаздывания PS-волн для какой-либо коррелируемой фазы от одного пункта наблюдения к другому, резкое изменение интенсивности Р- и PS-волн, разрывы в корреляции обменных волн по линии профиля, перепад глубин залегания границ обмена, изменение

**Таблица 2.** Скоростные характеристики зон и структур Центральной Камчатки.

Структуры		Центрально-Камчатский прогиб								Озерновская впадина	
Региональные профили и их отдельные участки		*Участок 2				*Участок 3					
						Южная половина				Северная половина	
		Профиль 4-4'				Профиль 5-5'				-	
№ п/п	Н, км	V <sub>p</sub> (км/с)		V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>		V <sub>p</sub> (км/с)		V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>		V <sub>p</sub> (км/с)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>
		I	II	I	II	I	II	I	II	II	II
1	0.00	-	3.60	-	1.95	5.80	3.60	1.68	1.95	3.40	1.95
2	0.1-2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	5.80	1.75
4	4.00	-	5.60	-	1.75	-	5.60	-	1.75	-	-
5	5.0-6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	7.00	-	-	-	-	-	-	-	-	6.40	1.73
7	7.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8.00	-	6.40	-	1.73	-	6.40	-	1.73	-	-
9	9.0-15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	20.00	-	6.80	-	1.73	5.80	6.80	1.68	1.73	6.80	1.73
11	25.00	-	7.20	-	1.73	-	7.20	-	1.73	7.20	1.73
12	28.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	30.00	-	-	-	-	-	-	-	-	8.00	1.73
14	32.00	-	8.00	-	1.73	-	8.00	-	1.73	-	-
15	35.00	-	-	-	-	6.50	-	1.73	-	-	-
16	38.0-100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	420.00	-	-	-	-	9.14	-	1.89	-	-	-

характера сейсмического разреза (изменение рас- слоенности, наличие областей «прозрачности» среды, то есть отсутствие PS-волн).

В процессе интерпретации все эти признаки рассматривались в совокупности с геолого-гео- физическими данными, в том числе, с данными о разломной тектонике, местной сейсмичности, наличии градиентных зон в потенциальных полях.

Глубинные построения контролировались путем решения прямой задачи сейсмологии для обменных волн<sup>5</sup>. Использовался метод лучевого трассирования среды, которая аппроксимиро- валась скоростной слоисто-блоковой моделью (Zelt, Smith, 1992). Процесс моделирования заключался в послойном сверху вниз подборе таких параметров разреза, которые позволили наилучшим образом совместить эксперимен- тальные и расчетные величины времен запазды- вания обменных волн, связанных с конкретной границей.

Отметим, что предельная разрешающая способность метода МОВЗ согласно классиче- ским представлениям (критерий Релея), а также

данным модельных исследований оценивается не менее чем в 0.5 длины волны. Учитывая, что частоты, регистрируемых в МОВЗ продольных и обменных волн находятся в диапазоне 0.5–1.5 Гц, а средние значения скоростных параметров ниже поверхности кристаллического фунда- мента изменяются в диапазонах  $V_p = 6.0\text{--}6.4$  км/с и  $V_p/V_s = 1.71\text{--}1.76$ , разрешающая способность метода оценивается порядка 1.5 км для раз- реза верхней части коры и 3.0 км вблизи ее подошвы. Точность построения сейсмических границ по данным PS-волн рассчитывается с использованием невязок экспериментальных и теоретических времен запаздывания по данным прямой задачи. При разбросе невязок времен запаздывания порядка 0.15 с, погреш- ности определения средних значений скорости продольных и поперечных волн составляют 0.1 км/с,  $V_p/V_s = 0.05$ , точность определения глубины — 8–10%.

## ПОСТРОЕНИЕ ГЛУБИННЫХ РАЗРЕЗОВ МОВЗ

Переинтерпретация данных МОВЗ своди- лась к пересмотру корреляции обменных волн, связанных с границами обмена в тех фрагментах разрезов, в которых они (границы), по мнению интерпретаторов, нуждались в корректировке. Кроме этого, потребовалось иное истолкование

<sup>5</sup> Егоркин А.В., Акиншина Л.В., Золотов Е.Е. и др. Отчет «Совершенствование технологии обработки и интерпретации материалов сейсмических наблюдений глубинных исследований на профилях МОВЗ-ГСЗ с целью повышения эффективности региональ- ных работ». Москва: Центр ГЕОН, 2001. 110 с.

ГРАНИЦЫ ЛИТОСФЕРЫ НА КАМЧАТКЕ

Таблица 3. Скоростные характеристики зон и структур Южной Камчатки.

Зоны, структуры		Срединный выступ				Южно-Камчатская зона							
Региональные профили и их отдельные участки		*Участок 2				*Участок 1				-			
		Профиль 3-3'				Профиль 1-1'				Профиль 2-2'			
		Vp (км/с)		Vp/Vs		Vp (км/с)		Vp/Vs		Vp (км/с)		Vp/Vs	
№ п/п	Н, км	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	0.00	-	5.00	-	1.82	-	4.20	-	1.82	-	4.20	-	1.82
2	0.10	4.30	-	1.93	-	4.30	-	1.93	-	4.30	-	1.81	-
3	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	4.40	-	1.83	-
4	0.20	4.45	-	1.99	-	4.45	-	1.99	-	4.45	-	1.84	-
5	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	4.55	-	1.86	-
6	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	4.60	-	1.87	-
7	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	4.80	-	1.92	-
8	1.00	4.90	-	1.95	-	4.90	-	1.95	-	4.90	-	1.87	-
9	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	-	1.85	-
10	2.00	-	5.60	-	1.75	-	5.60	-	1.75	5.05	5.60	1.84	1.75
11	2.50	-	-	-	-	-	-	-	-	5.10	-	1.82	-
12	3.00	5.10	-	1.93	-	5.10	-	1.93	-	-	-	-	-
13	4.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	5.00	5.30	-	1.91	-	5.30	-	1.91	-	5.30	-	1.80	-
15	6.0-7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	7.50	5.50	-	2.13	-	5.50	-	2.13	-	5.50	-	1.80	-
17	8.00	-	6.00	-	1.73	-	-	-	-	-	-	-	-
18	9.00	-	-	-	-	-	6.00	-	1.73	-	6.00	-	1.73
19	10.00	5.70	-	1.86	-	5.70	-	1.86	-	5.68	-	1.80	-
20	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	15.00	5.90	6.40	1.84	1.73	5.90	6.40	1.84	1.73	5.90	6.40	1.79	1.73
22	20.00	6.10	6.80	1.83	1.73	6.10	6.80	1.83	1.73	6.10	6.80	1.78	1.73
23	25.00	6.25	-	1.81	-	6.25	-	1.81	-	6.25	-	1.76	-
24	28.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	30.00	6.45	8.00	1.79	1.73	6.45	-	1.79	-	6.45	-	1.76	-
26	32.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	35.00	6.60	-	1.77	-	6.60	-	1.77	-	-	-	-	-
28	38.00	-	-	-	-	-	8.00	-	1.73	-	8.00	-	1.73
29	40.00	6.80	-	1.76	-	6.80	-	1.76	-	-	-	-	-
30	50.00	7.15	-	1.73	-	7.15	-	1.73	-	7.18	-	1.73	-
31	60.00	7.50	-	1.73	-	7.50	-	1.73	-	-	-	-	-
32	70.00	7.90	-	1.73	-	7.90	-	1.73	-	-	-	-	-
33	75.00	-	-	-	-	-	-	-	-	8.10	-	1.73	-
34	80.00	8.30	-	1.73	-	8.30	-	1.73	-	-	-	-	-
35	90.00	8.60	-	1.73	-	8.60	-	1.73	-	-	-	-	-
36	100.00	9.00	-	1.73	-	9.00	-	1.73	-	9.00	-	1.73	-

геологической природы наиболее выраженных границ.

В разрезах МОВЗ выделены следующие раздели литосферы: граница Мохоровичича (М);  $M_1$ ,  $M_2$  — границы в верхней мантии; F — граница докайнозойского складчатого основания — предполагаемая кровля верхнемелового комплекса пород; границы внутри земной коры —  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , где  $K_0$  — предполагаемая кровля консолидированной коры — кристаллического фундамента,

$K_2$  — граница Конрада. Граница  $K_1$  уверенно выделяется в верхней части земной коры в большинстве разрезов МОВЗ. В геоплотностном моделировании данный раздел разграничивает слои, характеризующиеся различной плотностью. В платформенных условиях Западной Камчатки, или близким к ним, это может быть подошва верхнеюрско-нижнемеловых метаморфических (раскристаллизованных) отложений. Но определение природы  $K_1$  в молодых

геосинклинальных областях проблематично. Можно лишь предположить, что граница  $K_1$  это есть некая граница, на которой происходит градиентный скачок плотности, а значит изменение скорости сейсмической волны в сторону ее увеличения.

Полученные разрезы вдоль профилей 1-1' — 8-8' (рис. 2) увязаны с разрезами вдоль отдельных участков профиля м. Лопатка — с. Хаилино (рис. 3) и согласованы с результатами ГСЗ (Аносов и др., 1978) в Центральной и Южной Камчатке.

С целью сопоставления глубинных разрезов МОВЗ с распределением плотности в земной коре и верхней мантии, вдоль региональных профилей было выполнено плотностное 2D-моделирование. Априорные значения плотности для верхнего слоя определялись по отложениям, выходящим на дневную поверхность. При этом использовались материалы обобщений<sup>6, 7, 8</sup>. Для более глубинных слоев, значения плотности взяты из опубликованных источников (Физические ..., 1984). Так, для верхнемеловых отложений значение плотности принято равным  $2.67 \text{ г/см}^3$ , для магматоморфического (гранитного) слоя  $2.64\text{--}2.8 \text{ г/см}^3$ , для нижней коры (базальтового слоя)  $2.80\text{--}3.07 \text{ г/см}^3$  и для верхней мантии, примерно,  $3.30 \text{ г/см}^3$ . Указанные значения приняты в качестве исходных данных для геоплотностного моделирования.

В качестве примера сопоставимости результатов МОВЗ и геоплотностного моделирования показаны слоисто-блоковые модели по западному и восточному фрагментам регионального профиля 3-3' (рис. 1, 4, 5), выполненные по методике, опубликованной в статьях (Сидоров, 1994, 2015; Сидоров, Новаков, 2014)<sup>9</sup>.

Рассмотрим плотностную модель вдоль западного фрагмента профиля 3-3', в интервале пикетов 19–19<sup>a</sup> (рис. 4). На глубине 3–10 км выделен блок с повышенной плотностью  $2.81 \text{ г/см}^3$ . Под ним в интервале глубин 10–23 км зафиксирован блок с понижением плотности до

$2.74 \text{ г/см}^3$ . Отмеченное разуплотнение уверенно выделяется и на фоне соседних по латерали блоков, где плотность составляет  $2.78 \text{ г/см}^3$ . Такую «инверсию» (понижение плотности с глубиной) можно объяснить следующим. Западный отрезок профиля 3-3' пересекает крупную структуру Срединного выступа — Пымтинский гранитогнейсовый купол (Государственная ..., 2006) (рис. 4). Диапазон подобранных плотностей для блоков соответствует плотности кристаллических сланцев. Их различие может быть обусловлено минеральным составом: более плотными являются сланцы с высоким содержанием темноцветных минералов, менее плотные — породы с большой долей кварца и плагиоклаза. Поэтому, «инверсию» можно объяснить различием состава преобладающих в блоке пород. На основе имеющихся данных (Сидоренко и др., 2010) можно допустить, что в блоке с более высокой плотностью в качестве протолита преобладали базальты, а с меньшей — осадочные породы. Также возможен вариант объяснения тем, что в верхнем блоке присутствуют более плотные интрузии базитов, а в нижнем — менее плотные гранитоиды. Возможно сочетание обоих факторов.

Обращает на себя внимание центральная часть восточного фрагмента плотностной модели (рис. 5). Здесь в районе пикетов 52–74, в интервале глубин 3–40 км выделена субвертикальная структура, которая в своей верхней части выражена повышенными значениями плотности, а в нижней — пониженными. По данным МОВЗ здесь отсутствует корреляция основных границ в земной коре. По форме структура напоминает опрокинутую воронку. Поскольку в этом районе профиль пересекает Курило-Южно-Камчатскую вулканическую зону<sup>1</sup>, авторами настоящей статьи высказано предположение о выделении здесь вулканического (палеовулканического?) магматита. В соответствии с модельными значениями плотности ( $2.77\text{--}2.81 \text{ г/см}^3$ ) данная структура в верхней коре (до раздела  $K_2$ ) может быть представлена породами габброидного состава.

Результаты выполненного моделирования подтвердили принятую идентификацию выделенных по данным МОВЗ слоев на непротиворечивость сложившимся представлениям о плотностных характеристиках слоев литосферы.

## ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ РАЗДЕЛОВ ЛИТОСФЕРЫ — МОХОРОВИЧИЧА, КОНРАДА И КРОВЛИ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЫ

Значения глубин до указанных границ определялись по разрезам МОВЗ (рис. 2, 3). Информация о глубинном строении литосферы

<sup>6</sup> *Апрелков С.Е., Ольшанская О.Н.* Отчет по обобщению материалов гравиметрической съемки масштаба 1:200 000 с целью составления структурно-формационной карты Южной Камчатки масштаба 1:500 000. Елизово: ЕГФЭ, 1986. 303 с.

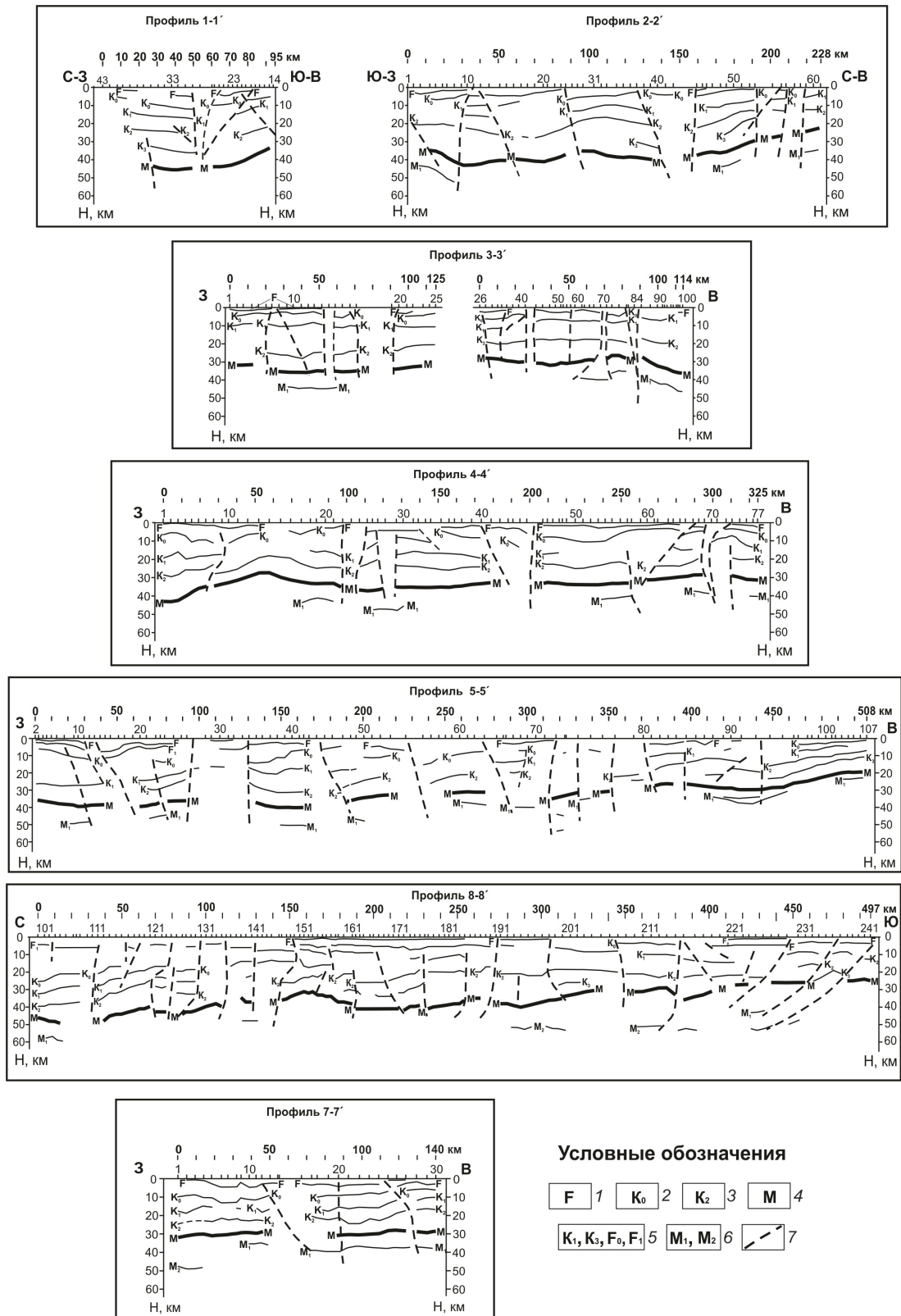
<sup>7</sup> *Апрелков С.Е., Иванова Г.И.* Отчет по обобщению и переинтерпретации материалов гравиметрических съемок масштаба 1:200 000 по Центральной Камчатке с целью составления структурно-формационной карты масштаба 1:500 000. Елизово: ЕГФЭ, 1989, 375 с.

<sup>8</sup> *Апрелков С.Е., Декина Г.И.* Отчет по обобщению и переинтерпретации материалов гравиметрических съемок масштаба 1:200 000 по северной части Камчатской области с целью составления тектонической карты масштаба 1:500 000. Елизово: ЕГФЭ, 1994. 347 с.

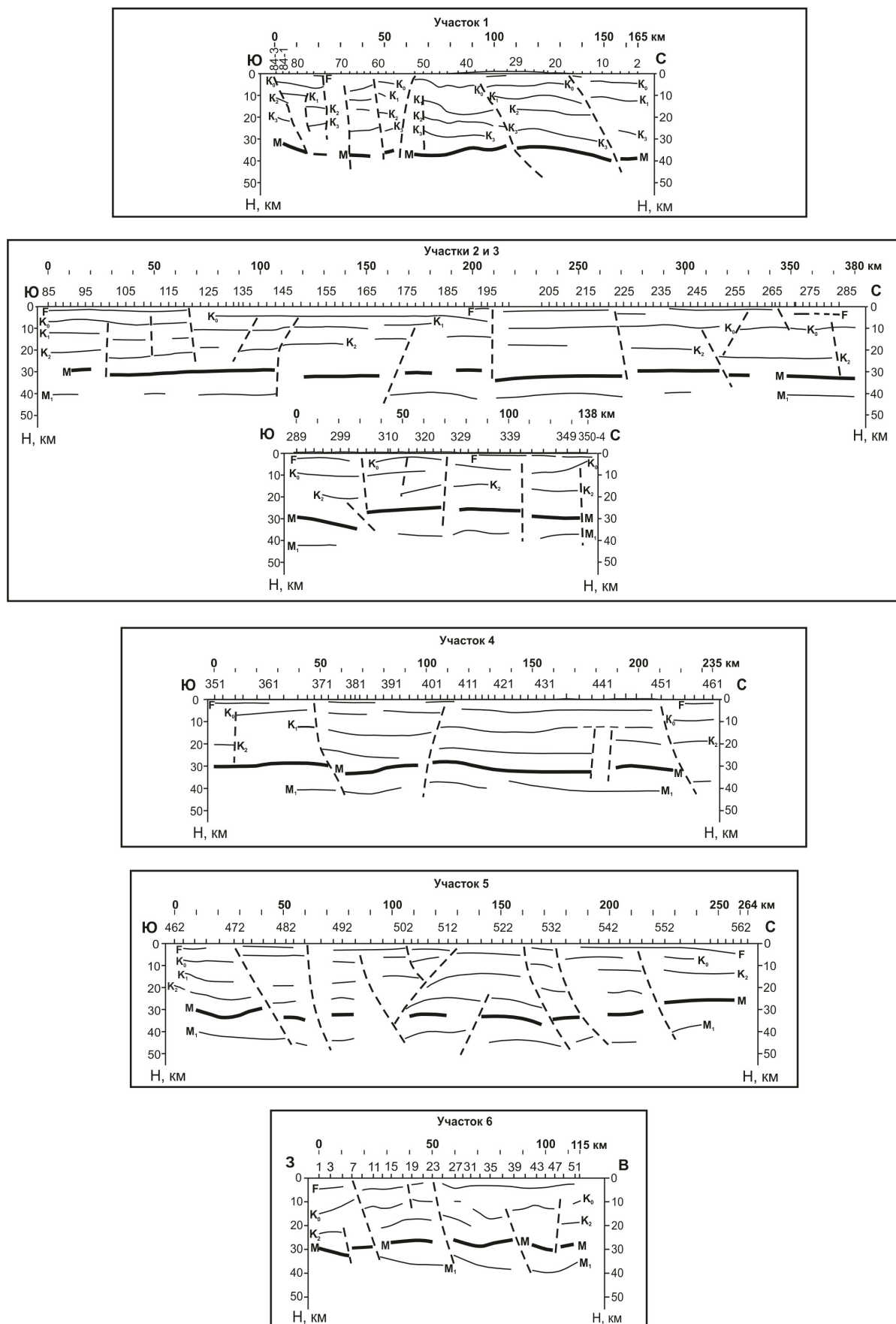
<sup>9</sup> Геоплотностное моделирование по профилю 3-3' выполнено канд. геол.-мин. наук М.Д. Сидоровым.



# ГРАНИЦЫ ЛИТОСФЕРЫ НА КАМЧАТКЕ

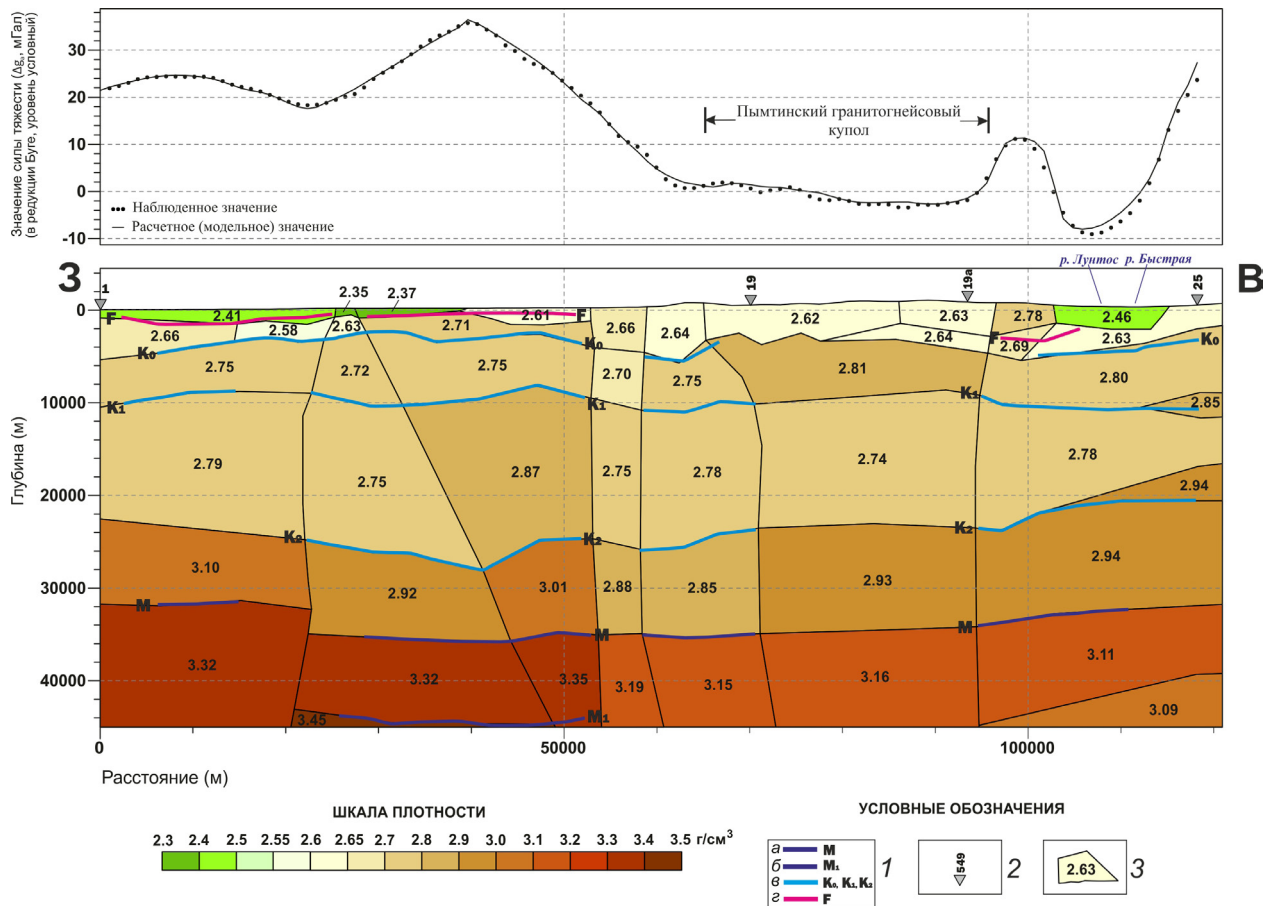


**Рис. 2.** Глубинные разрезы МОВЗ вдоль региональных профилей. Над разрезами показаны: разметка профиля в километрах; точки наблюдения МОВЗ и их номера. Расположение профилей представлено на рис. 1, 6, 7. Условные обозначения: 1 — кровля верхнемелового комплекса пород ( $V_r = 5.4 \pm 0.2$  км/с); 2 — кровля консолидированной коры — поверхность кристаллического фундамента ( $V_r = 6.0 \pm 0.2$  км/с); 3 — граница Конрада — граница между верхним («гранитным») и нижним («базальтовым») слоями земной коры ( $V_r = 6.7 \pm 0.2$  км/с); 4 — подошва земной коры — граница Мохоровичича ( $V_r = 8.0 \pm 0.2$  км/с); 5 — другие сейсмические границы в земной коре; 6 — другие сейсмические границы в верхней мантии; 7 — разрывные нарушения.



**Рис. 3.** Глубинные разрезы МОВЗ вдоль отдельных участков регионального профиля м. Лопатка — с. Хаилино. Над разрезами: разметка профиля в километрах, точки наблюдения МОВЗ и их номера. Расположение профиля показано на рис. 1, 6, 7. Условные обозначения представлены на рис. 2.

# ГРАНИЦЫ ЛИТОСФЕРЫ НА КАМЧАТКЕ



**Рис. 4.** Геоплотностная модель по региональному профилю 3-3' (западный фрагмент) и графики наблюдаемого и расчетного значений силы тяжести. Расположение профиля представлено на рис. 1, 6, 7. Условные обозначения: 1 — сейсмические границы по данным МОВЗ (*a* — граница Мохова; *b* — граница в верхней мантии, *в*, *г* — другие сейсмические границы, выделенные в земной коре); 2 — пункты МОВЗ и их номера; 3 — границы блоков и среднее для них значение плотности (г/см<sup>3</sup>).

вдоль профиля 6-6' (рис. 1) взята из работы (Попруженко и др., 2006). Для Центральной и Южной Камчатке глубинные разрезы МОВЗ согласованы с данными ГСЗ.

Поскольку Восточная Камчатка в своей значительной части не покрыта сетью региональных профилей, то здесь при построении схемы глубин до границы Мохоровичича использовались данные из работ (Бабошина и др., 1984; Levin et al., 2002), в которых представлены оценки мощности земной коры, рассчитанные преимущественно по данным гравиметрии и стационарных телесейсмических станций.

Расстояния между профилями МОВЗ-МТЗ значительны и местами достигают сотен километров. Поэтому, интерполяция сейсмических параметров в межпрофильных пространствах основана на качественной экстраполяции данных глубинных разрезов МОВЗ с учетом морфологии гравитационного поля и его региональных составляющих.

Следует отметить, что информация о границе Конрада в исследуемом регионе довольно ограничена. В настоящее время основные

данные по разделу К представлены материалами ГСЗ. На юге Камчатки по профилю III (рис. 1, 6, 7) выделены отражающие границы на глубине 18–22 км (Попов и др., 1987). Границы достаточно уверенно коррелируют между собой и их можно принять за фрагменты раздела Конрада. С этими данными удовлетворительно совпадает граница *K<sub>2</sub>* в разрезах МОВЗ по профилям 2-2' и 3-3' (рис. 2). В Центральной Камчатке, в разрезах ГСЗ (проф. I, II) на глубине 20–23 км также выделены отражающие границы, которые отождествляются с разделом К. В этом же районе по данным МОВЗ (210–290 км профиля 5-5') глубина до границы Конрада составляет 20–26 км. Как видно, показатели глубин, полученные различными методами, сопоставимы.

В результате комплексной интерпретации геолого-геофизических данных построены схемы разделов: Мохоровичича, Конрада и кровли консолидированной коры — кристаллического фундамента (рис. 1, 6, 7). Для сравнения (рис. 1, врезка А) представлена схема мощности земной коры по данным В.А. Бабошиной с соавторами (1984).

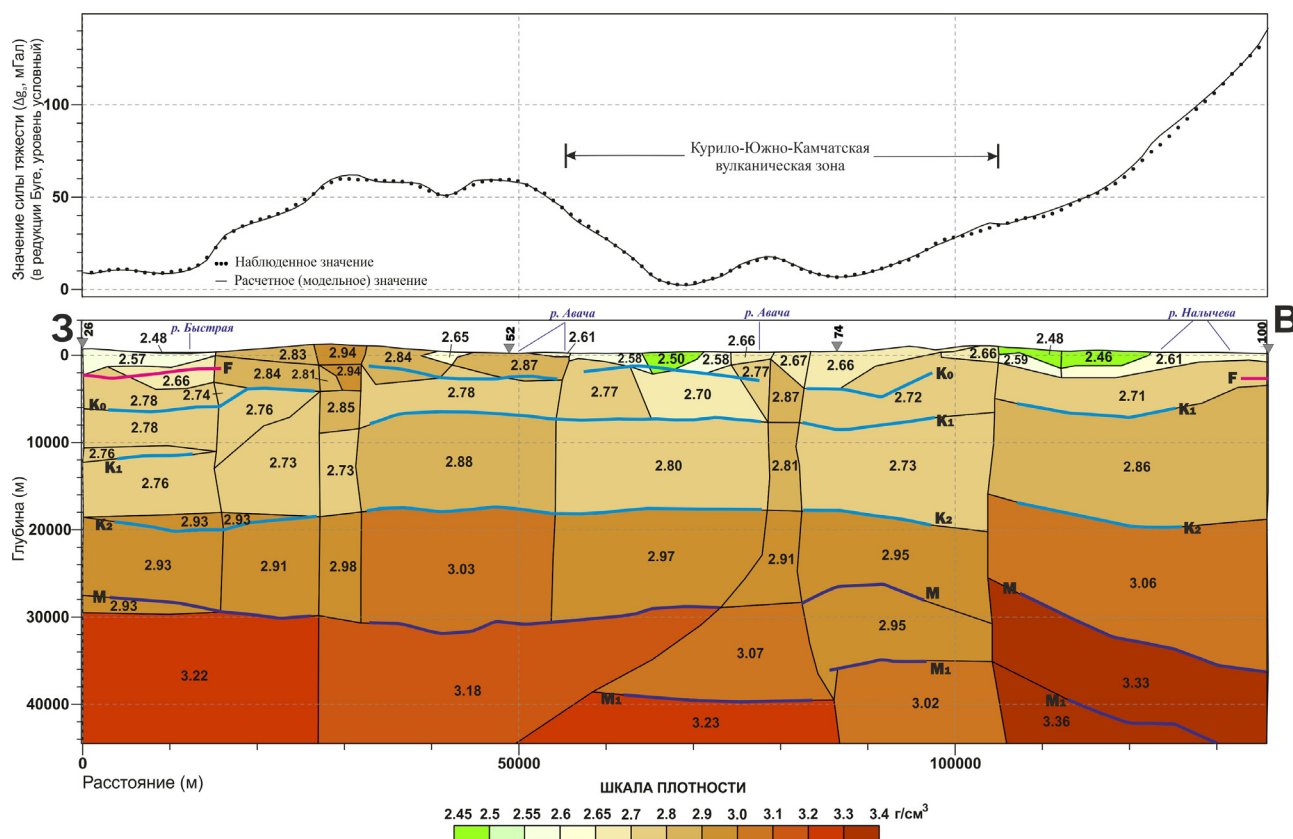


Рис. 5. Геоплотностная модель по региональному профилю 3-3' (восточный фрагмент) и графики наблюдаемого и расчетного значений силы тяжести. Расположение профиля показано на рис. 1, 6, 7. Условные обозначения представлены на рис. 4.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

**Морфология раздела М.** Морфология этого раздела достаточно контрастна (рис. 1) — выделяются изометрической формы участки со значительной мощностью земной коры, достигающей 36–39, 40–45 км и более. Разграничение таких участков проходит вдоль вытянутых зон утонения земной коры. Мощность таких утонений составляет 26–29 км и в их зоне фиксируются глубинные разломы. Но есть и исключение. Так, например, в западной части полуострова выделена субмеридианальная зона валообразного поднятия границы М с амплитудой поднятия 5–7 км. В ее сводовой части глубинных разрывных нарушений по данным MOVЗ не зафиксировано (рис. 2, профиль 4-4'). Тем не менее, значительные размеры и амплитуда утонения земной коры, ее совпадение с высокоградиентным гравитационным полем<sup>10</sup>, особенно с его региональной составляющей, указывают на то, что здесь, вероятно, имеет место граница, разделяющая крупные литосферные блоки.

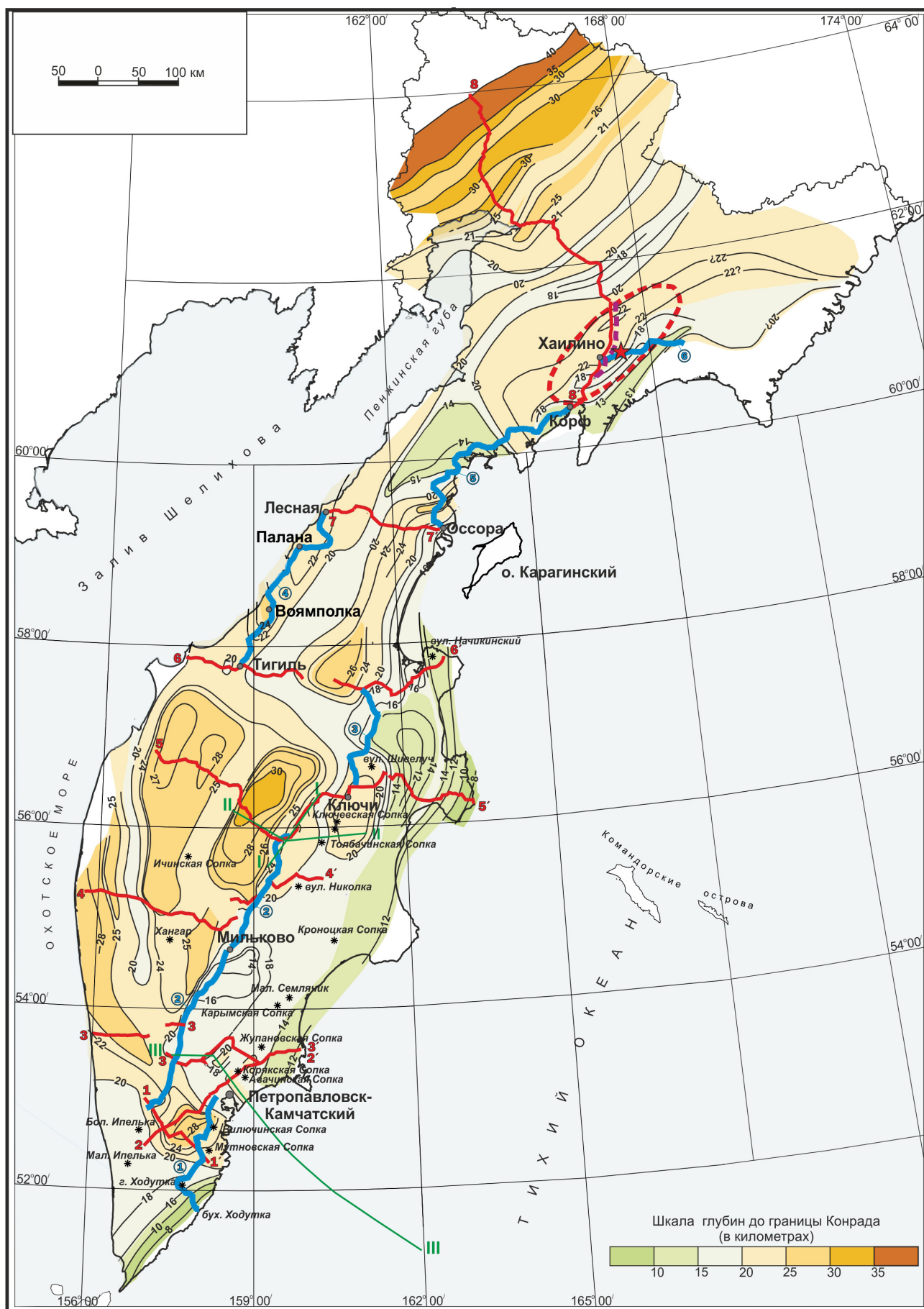
<sup>10</sup> Белоусов С.П. Объяснительная записка к гравиметрической карте Камчатской области масштаба 1:500000. Руководство пользователю. Елизово Камчатской области: ФГУП «Елизовская геофизическая экспедиция», 2001. 19 с.

На юге полуострова выделяется локальный участок ~(60×70) км изометрической формы, где мощность земной коры достигает 40–45 км. В плане он совпадает с так называемым Толмачевским активным магматическим центром<sup>1</sup>. Участок входит в зону ареального вулканизма, где зафиксировано несколько роев местных землетрясений. Весьма сходный по своим параметрам участок выделен в восточной половине Центральной Камчатки. По своим размерам он также относительно невелик ~(70×90) км и в плане совпадает с Ключевской группой вулканов (рис. 1). Глубина до раздела Мохоровичича здесь достигает 35–43 км. Как было уже отмечено, увеличение мощности земной коры в упомянутых участках может быть объяснено увеличением мощности переходной зоны в районе действующих вулканов и зон ареального вулканизма. На это указывают результаты работ ГСЗ в районе Ключевской группы вулканов (Аносов и др., 1978). Но, здесь необходимо уточнение — в анализируемых участках в качестве раздела М принята граница, отделяющая верхнюю мантию от подошвы упомянутого переходного слоя.

В восточной части полуострова выделена обширная область, вытянутая в северо-восточном направлении под азимутом ~30°. Здесь по комплексу геофизических данных отме-



# ГРАНИЦЫ ЛИТОСФЕРЫ НА КАМЧАТКЕ



**Рис. 6.** Схема глубин до границы Конрада. Условные обозначения представлены на рис. 1.

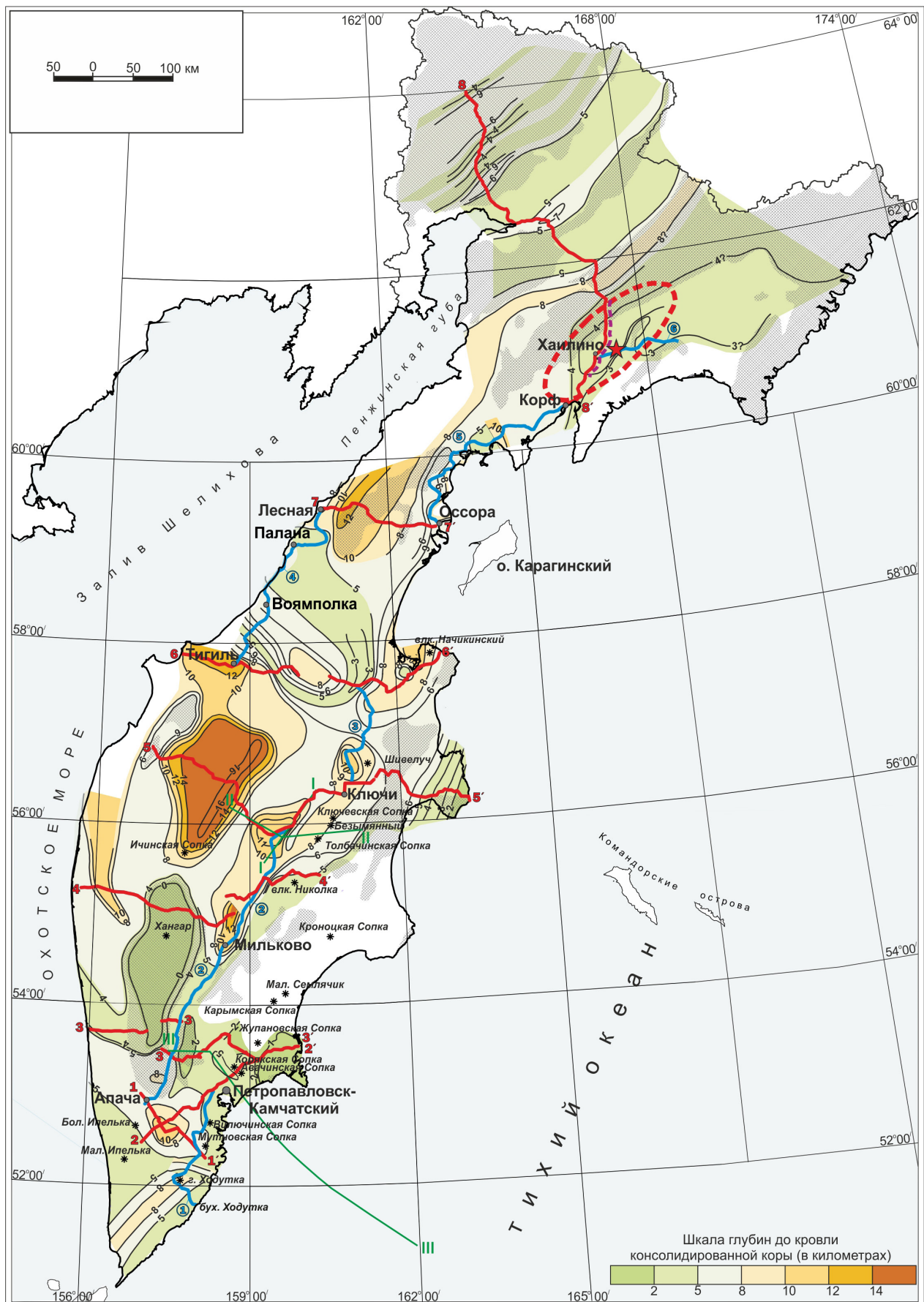


Рис. 7. Схема глубин до кровли консолидированной коры — кристаллического фундамента. Условные обозначения представлены на рис. 1.

чено уменьшение мощности земной коры до 28–30 км. Большая часть рассматриваемой территории относится к Центральной Камчатке, формирование которой связано с процессами современного рифтогенеза.

В северной половине исследуемого региона характер распределения глубин до границы М резко меняется. В этом месте направление изолиний преимущественно северо-восточное. Выделяется обширная область, в которой фиксируется увеличение мощности земной коры в северо-западном направлении. На крайнем севере региона глубина до раздела Мохоровичича достигает своих максимальных значений — 40–49 км. К юго-востоку от него глубина до М уменьшается до 36–41 км. Данный участок совпадает с Пенжинской структурно-формационной зоной. На границе между указанными районами отмечается утонение земной коры до 32–34 км, которое в плане совпадает с Пенжинским палеорифтом (Нурмухамедов, 2008, 2010; Нурмухамедов, Мороз, 2008, 2009).

В общем плане анализируемая схема «получилась» более дифференцированной, по сравнению с представленными в публикациях (Бабошина и др., 1984; Iwasaki et al., 2013). Например, между полуостровом и его перешейком наблюдается заметное утонение земной коры до 34–38 км на фоне 42–46 км (рис. 1, врезка А). В этом же месте уменьшение глубин до раздела Мохоровичича фиксируется и по данным МОВЗ, и составляет 26–29 км на окружающем фоне 35–40 км. Но, в отличие от предыдущего примера (рис. 1, врезка А) выделенный фрагмент имеет четко выраженное северо-западное простирание и в плане совпадает с Паланско-Командорской зоной поперечных дислокаций (ЗПД). По комплексу признаков (Селиверстов, 1998, 2009) данную зону можно отнести к фрагменту трансформного разлома, отделяющего в этом месте Евразийскую литосферную плиту от Северо-Американской.

На восточном побережье Камчатского перешейка в районе пос. Оссора (рис. 1) по данным работы (Бабошина и др., 1984) глубина до границы М составляет ~ 35 км. По данным МОВЗ — только 28 км. Но как показывает интерпретация геолого-геофизических данных по профилю 7-7' (рис. 1, 2) в этом месте можно сделать две оценки глубин до границы М. Одна отражает глубину до кровли верхней мантии обдуцированной плиты (28 км), другая — глубину до кровли мантии континентальной плиты (35–37 км). Последнее близко к результатам В.А. Бабошиной с соавторами (1984). Такая точка зрения объясняется обдукцией субокеанической литосферной плиты на краевую часть материковой в середине эоцена. Обдукция на северо-востоке Камчатки под-

робно изложена в публикациях (Мишин и др., 2003; Нурмухамедов, 2008, 2010; Нурмухамедов, Мороз, 2008, 2009 и др.). Здесь же отметим, что при построении схемы глубин до раздела Мохоровичича использованы оценки глубины до кровли верхней мантии именно обдуцированной плиты. Такое истолкование взаимодействия литосферных плит совпадает с точкой зрения, отраженной в работе (Хаина, Ломизе, 1995), где отмечено, что в надвинутых фрагментах океанической литосферы представлена только ее верхняя часть, куда входит вся кора и несколько километров (до 10 км) верхней мантии.

**Морфология раздела К.** Выделение в исследуемом регионе границы Конрада, а, следовательно, и кровли нижней коры, представляется вполне обоснованным. Толща заключенная между разделами К и М по своим физическим характеристикам отличается от выше- и нижележащих слоев литосферы.

Анализ схемы (рис. 6) указывает на то, что морфология раздела К во многом повторяет морфологию раздела М. Поверхность границы Конрада по наличию поднятых и погруженных участков так же контрастна, как и граница Мохоровичича. Выделяются участки с мощностью верхней коры, достигающей 25–30 км. В самой северной части региона глубина до границы К доходит до 35–40 км. Так же, как и на схеме М разграничение таких участков (блоков) происходит вдоль вытянутых зон утонения верхней части земной коры, мощность которых в разных местах варьирует от 17–19 до 20–21 км. Вдоль восточного побережья фиксируется более значительное уменьшение глубин до границы К. Особенно это заметно в районе восточных полуостровов (рис. 6). Многие участки на схеме глубин до границы Конрада (рис. 6) по своей конфигурации сопоставимы с аналогичными участками на схеме глубин до границы Мохоровичича (рис. 1), и в геологическом плане совпадают со структурами, упомянутыми ранее. Вероятно, здесь мы имеем дело с литосферными блоками различного порядка, разграниченными либо зонами выступа надастеносферной мантии и совпадающими с аналогичными участками утонения верхней коры, либо глубинными коромантийными разломами, либо комбинацией и тех, и других.

Сложная морфология основных границ литосферы (рис. 1, 6, 7) отмечается в районе Олюторского землетрясения (20.04.2006). В соответствии со схемой глубин до границы Мохоровичича (рис. 1) вся очаговая область находится в градиентной зоне, где значения глубин до раздела М меняется в диапазоне 26–35 км. Чередование подъемов и погружений указывает на волнообразный характер раздела между земной корой и верхней мантией.



Наиболее мощный сейсмический толчок ( $M_w = 7.6$ ) произошел в районе узкой высокоградиентной зоны, которая разграничивает участки, характеризующиеся различной глубиной до раздела Конрада — 18–19 и 20–22 км. Очевидно, данная зона отражает коромантийное разрывное нарушение северо-восточного простирания. Сложная морфология границ М и К, а также изменения, выявленные в глубинных разрезах в результате повторных измерений<sup>11</sup> МОВЗ на южном участке профиля 8-8' (рис. 1, 6), выполненных после землетрясения, указывают на высокий уровень тектонического напряжения в анализируемом районе (Попова и др., 2010).

#### **Морфология кровли консолидированной коры.**

Напомним, что в поле обмена волн выделяется контрастная плотностная граница, которая отождествляется с кровлей консолидированной коры — кровлей кристаллического фундамента. В разрезах МОВЗ (рис. 2, 3) данная граница обозначена индексом  $K_0$ .

На схеме (рис. 7) показано, что морфология раздела  $K_0$ , как и разделов М и К достаточно контрастна — выделяются различные по масштабам и конфигурации участки, отличающиеся друг от друга мощностью неконсолидированной коры. Так, в южной половине региона преобладают участки преимущественно изометрической формы. Границами между ними являются градиентные зоны — зоны контрастного перепада глубин до раздела  $K_0$ . На севере преобладают линейно-вытянутые морфоструктуры, где их северо-восточное простирание совпадает с доминирующим простиранием геологических структур 1-го порядка. Глубина до кровли консолидированной коры здесь меняется в диапазоне 4–7 км, а подъем границы  $K_0$  ритмично сменяются ее погружением. Очаговая область Олюторского землетрясения входит в зону, где глубина до раздела  $K_0$  составляет 3–4 км.

К югу от Камчатского перешейка выделяется зона северо-западного простирания (рис. 7). В плане она совпадает с Паланско-Командорской ЗПД. В этом месте мощность неконсолидированной коры меняется в пределах 2–7 км на окружающем фоне 8–10 км. Данный объект не так контрастно отражен в морфологии раздела  $K_0$ , как это прослеживается по разделам М и К (рис. 1, 6). Тем не менее, видно, что направление анализируемой зоны ортогонально по отношению к основным структурам Камчатки. На юге Камчатки также выделяется зона северо-западного простирания, где фиксируется погружение раздела  $K_0$  до 5–6 км на фоне 3–4 км.

Ближе к северо-западной части полуострова выделяется значительная по масштабам область погружения границы  $K_0$  (12–16 на фоне 8 км), а к югу от нее, вытянутая в меридиональном направлении, зона выступа этой границы (0–4 на фоне 5–8 км). В плане первая морфоструктура совпадает со Срединно-Камчатским вулканическим поясом, вторая — со Срединным выступом.

В завершение отметим, что в процессе построения и анализа схем разделов Мохоравичича, Конрада и кровли консолидированной коры был выделен еще ряд морфоструктур, контуры которых совпадают с известными геологическими структурами 1-го, 2-го и более мелких порядков, что также подчеркивает связь глубинного строения литосферы с геологическим строением верхней части земной коры<sup>1</sup>.

Сопоставимость отдельных элементов схем (рис. 1, 6, 7) с морфологией гравитационного поля, а также с контурами известных региональных структур высокого порядка, дает основание надеяться на то, что представленные схемы М, К и  $K_0$  близки к отражению реальной морфологии анализируемых разделов литосферы.

#### **Список литературы**

- Аносов Г.И., Балеста С.Т., Будянский Ю.А., Утнасин В.К. Строение земной коры по профилю Камчатка-Океан и некоторые вопросы глубинного строения Восточного вулканического пояса // Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса. Петропавловск-Камчатский: 1974. С. 39.
- Аносов Г.И., Биккенина С.К., Попов А.А. и др. Глубинное сейсмическое зондирование Камчатки. М.: Наука, 1978. 130 с.
- Апрелков С.Е., Декина Г.И., Попруженко С.В. Особенности геологического строения Корякского нагорья и бассейна реки Пенжины // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16. № 2. С. 46–57.
- Бабошина В.А., Терещенко А.А., Харахинов В.В. Глубинное строение Охотоморского региона по геофизическим данным. М.: ВНИИ Газпром, 1984. Вып. 3. С. 15–36.
- Балеста С.Т., Гонтовая Л.И. Сейсмическая модель земной коры Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода в районе Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 83–90.
- Гонтовая Л.И., Санина И.А., Сеньюков С.Л., Степанова М.Ю. О скоростной объемной модели литосферы Восточной Камчатки (по данным сейсмической томографии) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 62–69.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Корякско-

<sup>11</sup> Первичные данные МОВЗ и МТЗ в районе Олюторского землетрясения (20.04.2006) получены в июле-августе 2005 г. Повторный сбор данных реализован в апреле-мае 2009 г.



- Курильская. Лист N-57 — Петропавловск-Камчатский / Ред. Литвинов А.Ф., Марковский Б.А. 1:1 000 000 (третье поколение). СПб: ВСЕГЕИ, 2006.
- Карта полезных ископаемых Камчатской области / Ред. Литвинов А.Ф., Патока М.Г., Марковский Б.А. 1:500 000. СПб: ВСЕГЕИ, 1999.
- Косминская И.П. Современные сейсмические данные об океанической и континентальной коре // Бюллетень МОИП. Отд. геологии. 1967. Т. XLII. № 5. С. 8–17.
- Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г.  $M_w = 7.6$ : Сейсмическая история региона и предварительные результаты исследования серии афтершоков // Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2007. С. 14–33.
- Мишин В.В. Глубинное строение и типы земной коры юга Камчатки // Тихоокеанская геология. 1996. № 1. С. 110–119.
- Мишин В.В. Геолого-геофизическое строение Камчатки // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16. № 4. С. 64–70.
- Мишин В.В., Нурмухамедов А.Г., Белоусов С.П. Палеосубокеанический тип земной коры на северо-востоке Камчатки // Тихоокеанская геология. 2003. № 5. С. 58–72.
- Нурмухамедов А.Г. Результаты интерпретации глубинных геофизических исследований, проведенных в районе Камчатского перешейка и материковой части Камчатского края в свете сейсмической активности в Олюторском районе // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России: Тр. региональной н.-т. конф. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2008. С. 194–199.
- Нурмухамедов А.Г. Глубинное строение северо-восточной части Корякско-Камчатской складчатой области по геофизическим данным. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2010. 17 с.
- Нурмухамедов А.Г., Мороз Ю.Ф. Особенности геологического строения северо-восточной части Корякско-Камчатской складчатой области по данным глубинных геофизических исследований // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. № 11. С. 125–133.
- Нурмухамедов А.Г., Мороз Ю.Ф. Глубинное строение северо-восточной части Корякско-Камчатской складчатой области по данным региональных геофизических исследований // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 3. С. 74–83.
- Померанцева И.В., Мозженко А.Н. Сейсмические исследования с аппаратурой «Земля». М.: Недра, 1977. 256 с.
- Попов А.А., Аносов Г.И., Аргентов В.В. и др. Строение земной коры по сейсмическим данным // Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы / Ред. Сергеев К.Ф., Красный М.Л. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. Лист 18.
- Попова О.Г., Недядько В.В., Липатьев М.С., Нурмухамедов А.Г. Возможность оценки напряженного состояния среды при профильных наблюдениях МОВЗ на примере материала, полученного в районе Олюторского землетрясения 2006 г. на Камчатке // Структура, свойства, динамика и минерализация литосферы Восточно-Европейской платформы. Материалы XVI Международной конференции / Ред. Чернышов Н.М., Маловичко А.А. Воронеж: ВГУ, 2010. Т. 2. С. 149–153.
- Попруженко С.В., Анрелков С.Е., Нурмухамедов А.Г. и др. Результаты региональных геофизических исследований МОВЗ и МТЗ по широтному профилю мыс Утлохлок — п-ов Озерновский (п-ов Камчатка, 2001–2004 гг.) // Геофизика XXI столетия: Сборник трудов Седьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского (3–5 марта 2005 г.) / Ред. Солодилов Л.Н. М.: Новый мир, 2006. С. 135–143.
- Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
- Селиверстов Н.И. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский.: КамГУ, 2009. 191 с.
- Сидоренко В.И., Селиванов М.Т., Лисович В.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000. Серия Хангарская. Лист N-57-XIV (гора Вершинная): Объяснительная записка. СПб.: Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2010. 144 с.
- Сидоров М.Д. Картирование мезозойского фундамента Авачинско-Корякской группы вулканов (Камчатка) методом плотностного моделирования // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4–5. С. 99–105.
- Сидоров М.Д. Плотностное моделирование магматических структур в Колпаковском перспективном никеленосном районе (Срединный массив, Камчатка) // Тихоокеанская геология. 2015. № 3. Т. 34. С. 31–41.
- Сидоров М.Д., Новаков Р.М. Плотностная модель зоны сочленения Камчатской и Алеутской островных дуг // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 59–65.

- Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Дортман Н.Б. М.: Недра, 1984. 455 с.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Обдукция // Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. С. 161–167.
- Levin V., Park J., Brandon M. et al. Crust and upper mantle of Kamchatka from teleseismic receiver function // Tectonophysics. 2002. V. 358. Iss. 1–4. P. 233–265.
- Iwasaki T., Levin V., Nikulin A., Iidaka T. Constraints on the Moho in Japan and Kamchatka // Tectonophysics, 2013. V. 609. P. 184–201.
- Vinnik L.P. Detection of waves converted from P to SV in the mantle // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1977. V. 15. № 1. P. 39–45.
- Zelt C.A., Smith R.B. Seismic travel time inversion for 2-D crustal velocity structure // Geophysical Journal International. 1992. V. 108. Iss. 1. P. 16–34.

## THE LITHOSPHERE BOUNDARIES IN KAMCHATKA BASED ON DATA ON THE EARTHQUAKE CONVERTED-WAVE METHOD (ECWM)

A.G. Nurmukhamedov<sup>1</sup>, V.V. Nedyadko<sup>2</sup>, V.A. Rakitov<sup>2</sup>, M.S. Lipatyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC Kamchatgeologia, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683016;

<sup>2</sup>GEON Centre, Branch of JSC VNIIGeophysika, Moscow, 1190304

The article is based on the summary results of the deep investigations using the earthquake converted-wave method (ECWM), which were conducted over the period 1986–2013 along the regional profiles on Kamchatka. One of the goals was to create structural maps using data on the ECWM to show peculiarities of morphology of major zones such as the Mohorovicic (M) and Conrad (C) discontinuities, and consolidated crust's roof ( $K_0$ ). The paper presents data on velocity characteristics of medium, methods of processing, interpretation of materials of the ECW method and construction of depth profiles. Deep geodensity models along the profile of the southern part of the peninsula were used to illustrate complex interpretation of geological-geophysical data. The investigation resulted in maps of major lithospheric zones such as M, C, and  $K_0$ . These maps can be used for distinguishing the lithospheric blocks of the first, second and lesser orders. The authors revealed a regional linearly extended zone of the Moho and Conrad discontinuities upwelling of the northwest trend, which is equated with a part of the boundary between the North American and Eurasian Plates.

**Keywords:** Kamchatka, lithosphere, Mohorovicic discontinuity, obduction, zone of lateral displacement.